



⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑯ **Patentschrift**
⑯ **DE 198 07 884 C 2**

⑯ Int. Cl.⁷:
A 61 B 5/103
A 61 B 6/03

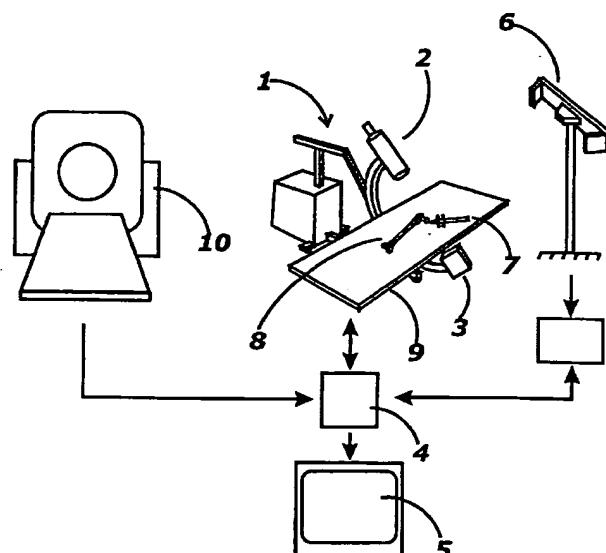
⑯ Aktenzeichen: 198 07 884.6-35
⑯ Anmeldetag: 25. 2. 1998
⑯ Offenlegungstag: 9. 9. 1999
⑯ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 24. 7. 2003

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Patentinhaber: Schweikard, Achim, Prof. Dr., 20357 Hamburg, DE	⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften: DE 34 26 934 C2 DE 36 23 082 A1 US 56 62 111 US 53 83 454 Cinguin, P. (u.a.): Computer Assisted Medical Interventions, In: Z.: IEEE Engineering in Medicine and Biology, Vol. 14, Number 3 Mai/Juni 1995, S. 254-263; VÖLTER, S. (u.a.): Virtual Reality in der Orthopädie: Prinzipien, Möglichkeiten und Perspektiven in Z.: Z. Orthop. 133 (1995), S. 492-500; J.L.M. de la Barrera: Ein durchgängiges System zur Computer- und roboterunterstützten Chirurgie, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1996;
⑯ Vertreter: Haft, von Puttkamer, Berngruber, Czybulka, Karakatsanis, 81669 München	
⑯ Erfinder: Schweikard, Achim, Prof., 20357 Hamburg, DE; Brack, Christian, 86459 Gessertshausen, DE; Roth, Michael, 86153 Augsburg, DE	

⑯ Verfahren zur Kalibrierung einer Aufnahmeverrichtung zur Bestimmung von räumlichen Koordinaten anatomischer Zielobjekte und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

⑯ Verfahren zur Kalibrierung einer Aufnahmeverrichtung zur Bestimmung von räumlichen Koordinaten anatomischer Zielobjekte, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Aufnahmeverrichtung vor dem Einsatz derselben eine Serie von Aufnahmen aus mehreren unterschiedlichen Winkeln aufgenommen wird, wobei Kalibrierkörper und/oder Kalibriersysteme an der Aufnahmeverrichtung verwendet werden, die Verzerrungseigenschaften der Aufnahmen durch ein ortsabhängiges Kalibrierungs-Parametermodell beschrieben und gespeichert werden, wobei die Kalibrierkörper und/oder Kalibriersysteme anschliessend ganz oder teilweise entfernt werden und wobei die während des Einsatzes der Aufnahmeverrichtung gewonnenen Aufnahmen von einem Rechner mit Hilfe des Kalibrierungs-Parametermodells ausgewertet und entzerrt dargestellt werden, wobei dann, wenn während des Einsatzes der Aufnahmeverrichtung eine Aufnahmeverrichtung verwendet wird, die mit einer der bereits gespeicherten nicht übereinstimmt, die Verzerrungseigenschaften durch einen Interpolationsalgorithmus aus dem Kalibrierungs-Parametermodell ermittelt werden.



DE 198 07 884 C 2

DE 198 07 884 C 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Kalibrierung einer Aufnahmeverrichtung zur Bestimmung von räumlichen Koordinaten anatomischer Zielobjekte und auf eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] Während chirurgischer Operationen wird üblicherweise, um das zu behandelnde Zielobjekt mit den chirurgischen Instrumenten zu erreichen, lediglich ein kleiner Schnitt durch die Haut des Patienten vorgenommen, wodurch es für den Chirurgen oft schwierig, sogar unmöglich ist, operationsrelevante anatomische Strukturen des Patienten optisch zu erfassen. Deswegen gewinnen Verfahren zur Visualisierung anatomischer Strukturen und Zielobjekte sowie auch der exakten Position der chirurgischen Instrumente zunehmend an Bedeutung.

[0003] Außerdem ist es zweckmäßig, zumindest für komplexe Operationen, den Verlauf der Operation im Voraus anhand von meistens rechnergenerierten Aufnahmen zu planen, die dann während der Operation mit den aktuell gewonnenen Aufnahmen verglichen werden, um dadurch eine exakte Durchführung zu gewährleisten.

[0004] Verfahren zur intraoperativen rechnergestützten Bestimmung von räumlichen Koordinaten anatomischer Zielobjekte sind bekannt. In der US 5662111 A ist ein Verfahren zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten des Kopfes eines Patienten während einer Hirnoperation offenbart, welches einen stereotaktischen Kopfhalter verwendet. Die relevanten Koordinaten werden zuerst im Koordinatensystem des Halters bestimmt und anschließend durch den angeschlossenen Rechner in Koordinaten des Erfassungssystems transformiert. Auf diese Weise können sie mit den gespeicherten präoperativen Aufnahmen verglichen werden.

[0005] Alternativ wird die Verwendung von Markern am Patienten als Referenzpunkte vorgeschlagen. Dieses Verfahren ist nur für Hirnoperationen einsetzbar. Zudem kann das Anbringen des Kopfhalters und der Referenzmarker für den Patienten schmerhaft und unangenehm sein, vor allem weil diese für mehrere Stunden angebracht bleiben müssen. Außerdem verlängert sich dadurch die Dauer der Gesamtprozedur, denn der Rahmen muss angeschraubt werden, bevor die Tomographie aufgenommen wird und während der Tomographie und der Planung sowie auch während der Ausführung angeschraubt bleibt.

[0006] Ein ähnliches Verfahren für Hirnoperationen ist auch aus der US 5383454 A bekannt, wobei ein Referenzring um den Kopf des Patienten angebracht wird und die so ermittelten Koordinaten in Koordinaten des Erfassungssystems transformiert werden.

[0007] Ein Problem bei Verfahren dieser Art ist die Kalibrierung der Erfassungssysteme bzw. Aufnahmeverrichtungen, die auch räumliche Abhängigkeiten aufweisen kann. Insbesondere können kleine räumliche Variationen des Erdmagnetfeldes zu einer Variation der Verzerrung der gewonnenen Bilder führen, die wiederum in einer kritischen Ungenauigkeit der Auswertung der Bilder resultieren können.

[0008] In der Veröffentlichung Proc. Int. Symp. Computer Assisted Radiology (CAR), Paris, 781-788, 1996 ist ein Verfahren zur Kalibrierung einer Röntgenkamera und anschließender Bestimmung der räumlichen Koordinaten eines Zielobjektes eines Patienten offenbart. Hierbei werden zwei dreidimensionale Kalibrierkörper verwendet, die leicht zu detektierende Merkmale enthalten, wobei der eine direkt vor dem bewegbaren Röntgenverstärker und der andere fest im Raum angeordnet ist. Aus der Kenntnis der Größe und Kontur der Kalibrierkörper wird eine parametrisierte Abbildungsmatrix erstellt, die anschließend derart optimiert wird, dass die Bilder der Kalibrierkörper aus mindestens

zwei unterschiedlichen Winkeln von Fehlern befreit sind. Während der Operation wird jede Aufnahme kalibriert, mit dem Ziel, entzerrte und präzise Bilder zu generieren.

[0009] Bei dieser Vorgehensweise sind die Referenzpunkte der Kalibrierkörper stets in dem Bild enthalten, das der Chirurg zur Durchführung der Operation benötigt. Zudem sind die Kalibrierkörper für das Rechenverfahren nicht ohne weiteres vom Operationsgegenstand, z. B. einem Knochen zu unterscheiden.

[0010] Die kontinuierliche ortsabhängige Kalibrierung erfordert, auch aus dem oben genannten Grund, einen hohen Rechen- und Zeitaufwand, wodurch die Dauer von Operationen verlängert und u. U. das Risiko für den Patienten erhöht wird. Bei einer Verlängerung des Eingriffs muss die Blutsperre länger aktiv bleiben, wodurch sich die Wahrscheinlichkeit von Komplikationen erhöht. Die Benutzung von Kalibrierkörpern während der Operation verringert nicht nur die Zuverlässigkeit, sondern es entsteht auch eine Dämpfung der Bilder, wodurch sich der Kontrast verschlechtert; dadurch wird die Fehlerwahrscheinlichkeit bei der anschließenden Bildverarbeitung wesentlich erhöht.

[0011] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ausgehend von diesem Stand der Technik, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, welche eine Kalibrierung einer Aufnahmeverrichtung zur Bestimmung von räumlichen Koordinaten anatomischer Zielobjekte schnell und präzise, auch während des Einsatzes der Aufnahmeverrichtung ermöglichen. Außerdem soll eine dreidimensionale Rekonstruktion anhand von Einzelaufnahmen möglich sein,

[0012] Es gibt jedoch Strukturen wie z. B. Weichteilstrukturen oder Tumoren, die nicht in Einzelaufnahmen erfassbar sind. Somit entsteht die Notwendigkeit einer dreidimensionalen Rekonstruktion des Zielobjektes anhand von Einzelaufnahmen. Eine derartige Vorgehensweise würde es ermöglichen, für jede Art von Operation ohne stereotaktische Vorrichtungen und Marker eine berührungslose vollständige intraoperative Bestimmung der räumlichen Koordinaten des Zielobjektes zu erhalten und die relative Position eines Zielobjektes zu einem oder zu mehreren chirurgischen Instrumenten zu ermitteln und zu visualisieren.

[0013] Um eine möglichst exakte Visualisierung zu gewährleisten, soll das erfindungsgemäße Verfahren den Schritt der Kalibrierung enthalten, wobei während der Operation bzw. des Einsatzes der Aufnahmeverrichtung auf Kalibrierkörper und stereotaktische Halter oder Marker verzichtet werden soll.

[0014] Außerdem soll das vorgeschlagene Verfahren unabhängig von der Art der Bilderfassung sein, so dass Röntgen-, Ultraschall-, CT-, Infrarot und andere bildgebende Verfahren eingesetzt werden können.

[0015] Diese Aufgabe ist gemäß der Erfindung für ein Verfahren durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst, für eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens durch Merkmale der Ansprüche 10 und 12.

[0016] Weitere Merkmale und Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

[0017] Demgemäß wird vorgeschlagen, mittels der Aufnahmeverrichtung eine oder mehrere Aufnahmen aus unterschiedlicher Position bzw. Orientierung zu machen, wobei bei mehreren Aufnahmen, die für eine dreidimensionale Rekonstruktion erforderlich sind, die relativen Positionen bzw. Orientierungen der Aufnahmen zueinander bestimmt oder berechnet werden.

[0018] Zur Bestimmung der relativen Positionen bzw. Orientierungen der Aufnahmen zueinander wird die Position und Orientierung der Aufnahmeverrichtung mittels ei-

nes Tracking-Systems, z. B. eines Infrarot-Tracking-Systems oder mittels einer auf der Aufnahmeverrichtung angebrachten Winkelencoderanordnung verfolgt.

[0019] Zusätzlich können am Zielobjekt intraoperativ Marken, die für das Tracking-System sichtbar sind, angebracht und verfolgt werden. Dadurch können kleine Bewegungen zwischen Aufnahmen ausgeglichen werden.

[0020] Alternativ oder zusätzlich dazu kann die relative Lage der Aufnahmen zueinander gemessen werden oder konstruktionsbedingt durch geeignete Voreinstellungen als bekannt vorausgesetzt werden. Eine hier zu diesem Zweck vorgeschlagene Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens enthält im Rahmen einer bevorzugten Ausgestaltung zwei in festem Abstand voneinander angeordnete Aufnahmeeinrichtungen, so dass die relative Position und Orientierung der Aufnahmeeinrichtungen bekannt ist.

[0021] Anschliessend werden die so gewonnenen Aufnahmen mit präoperativ gewonnenen und gespeicherten Aufnahmen mit Hilfe eines Rechners verglichen, um die Position mindestens eines chirurgischen oder eines robotergesteuerten chirurgischen Instrumentes relativ zum Zielobjekt zu bestimmen. Mit dieser Information kann die ermittelte Position des chirurgischen Instrumentes mit einer präoperativ geplanten und gespeicherten Position verglichen werden, um eine exakte Durchführung der Operation zu gewährleisten. Bei einfachen Operationen kann die Planung auch intraoperativ stattfinden. In diesem Fall bezieht sich der Datenabgleich auf intraoperative Aufnahmen. Dabei kann eine optische oder akustische Warnung erzeugt werden, wenn die Abweichung zwischen Soll- und Istzustand des chirurgischen Instrumentes relevant ist.

[0022] Eine Warnung kann auch dann erzeugt werden, wenn der Winkelabstand zwischen zwei Aufnahmen zu klein oder ungeeignet ist oder wenn das Zielobjekt nicht geeignet sichtbar ist.

[0023] Für nicht in Einzelaufnahmen erfassbare Zielobjekte wird aus mindestens zwei aus unterschiedlicher Orientierung und/oder Position gewonnenen Aufnahmen intraoperativ eine dreidimensionale Rekonstruktion berechnet.

[0024] Der Vorteil dieses berührungslosen Verfahrens liegt auf der Hand: Es sind keine stereotaktischen Vorrichtungen oder Marken am Patienten mehr notwendig, die eine Fixierung des Patienten erfordern und die Operationsdauer um mehrere Stunden verlängern können.

[0025] Wie oben beschrieben, wird die absolute Stellung der Aufnahmeverrichtung erfasst oder berechnet, oder die absolute Stellung der Aufnahmeverrichtung und die relative Stellung von Aufnahmen zueinander oder es wird nur die relative Stellung von Aufnahmen zueinander erfasst oder berechnet. Im letzten Fall müssen noch die vom absoluten Ort der Aufnahmeverrichtung abhängigen Kameraparameter erfasst werden.

[0026] Erfindungsgemäß besteht eine Möglichkeit hierzu darin, kleine statische Marken am Rand des Sichtfeldes der Aufnahmeverrichtung (relativ zur Aufnahmeverrichtung fest angeordnet) anzubringen.

[0027] Es werden dann die relativen Bildpositionen dieser Marken in eine Serie von Aufnahmen präoperativ bestimmt, wobei jeweils Informationen über die zugehörige Absolutlage der Aufnahmeverrichtung oder die zugehörigen Kameraparameter gespeichert werden. Während des Einsatzes der Aufnahmeverrichtung können dann aus der relativen Lage der Marken im Bild die zugehörige Information über die Absolutposition, die Kameraparameter, Kalibrierdaten etc. ermittelt oder berechnet werden.

[0028] Alternativ kann ein digitaler Bildaufnehmer verwendet werden, der bereits werkseitig entzerrt ist, z. B. durch Messung der Magnetfeldeinflüsse o. ä..

[0029] Des Weiteren wird zum Zweck der Kalibrierung vorgeschlagen, vor der Operation mittels der Aufnahmeverrichtung eine Serie von Bildern aus mehreren unterschiedlichen Winkeln aufzunehmen. Dabei werden bekannte Kalibrierkörper bzw. Kalibriervorrichtungen oder an der Aufnahmeverrichtung angebrachte Referenzmarken verwendet.

[0030] Anschliessend werden die – ortsabhängig – Verzerrungseigenschaften durch ein Kalibrierungs-Parametermodell beschrieben und gespeichert und die Kalibriervorrichtungen entfernt. Die Eingabedaten des Kalibrierungs-Parametermodells können sowohl absolute Positionsangaben der Aufnahmeverrichtung als auch Sensordaten eines Referenzkörpers (Referenzmarken) sein.

[0031] Die während der Operation mittels der Aufnahmeverrichtung gewonnenen Bilder werden vom Rechner mit Hilfe des Kalibrierungs-Parametermodells ausgewertet und entzerrt dargestellt. Wenn während der Operation eine Aufnahmerrichtung ausgesucht wird, der mit einer der bereits gespeicherten nicht übereinstimmt, werden die Verzerrungseigenschaften durch einen Interpolationsalgorithmus aus dem Modell ermittelt. Auch diese Daten werden gespeichert, um bei erneuter Wahl z. B. dieser Aufnahmerrichtung das Bild schneller darstellen zu können. Dabei wird die Position der Erfassungsvorrichtung, z. B. einer C-Bogen-Röntgenkamera kontinuierlich in Echtzeit verfolgt.

[0032] Das erfindungsgemäße Verfahren erfordert deutlich weniger Rechen- und Zeitaufwand, da auf bereits vorhandene Kalibrierungsdaten zugegriffen wird. Zudem wird eine Operation möglich, bei der auf eine schmerzhafte Fixierung des Patienten im Operationsbereich verzichtet wird.

[0033] Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass die intraoperativen Bilder keine störenden Kalibrierpunkte enthalten. Dadurch erhöht sich die Zuverlässigkeit der anschliessenden Bildverarbeitung erheblich.

[0034] Die Aufnahmeverrichtung kann eine Röntgen-, Infrarot-, CT-, MR- oder Ultraschallaufnahmeverrichtung sein, die eine oder mehrere Aufnahmeeinrichtungen aufweisen kann.

[0035] Die Erfindung wird anhand der Zeichnung näher erläutert. In dieser stellen dar:

[0036] Fig. 1 Eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens für Röntgenaufnahmeverrichtungen und des Aufbaus der Vorrichtung zu dessen Durchführung;

[0037] Fig. 2 Eine detailliertere Darstellung des Tracking-Systems aus Fig. 1;

[0038] Fig. 3 Eine Variante des Systems zur Bestimmung der Position bzw. Orientierung der Röntgenaufnahmeverrichtung;

[0039] Fig. 4 Eine schematische Darstellung einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens für Röntgenaufnahmeverrichtungen und des Aufbaus der Vorrichtung zu deren Durchführung;

[0040] Fig. 5 Eine Darstellung der Röntgenaufnahmeverrichtung aus Fig. 4;

[0041] Fig. 6 Eine Darstellung einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Röntgenaufnahmeverrichtung aus Fig. 4;

[0042] Fig. 7 Eine Illustration der Visualisierung der Position bzw. Orientierung eines chirurgischen Instrumentes gemäß der Erfindung;

[0043] Fig. 8 Eine mit Marken am Rand des Sichtfeldes versehene Röntgenaufnahmeverrichtung;

[0044] Fig. 9 Ein mit Referenzmarken versehenes chirurgisches Instrument; und

[0045] Fig. 10 Ein robotergeführtes chirurgisches Instrument;

[0046] Gemäß Fig. 1, wird eine Röntgenaufnahmeverrichtung 1 mit einem Detektor 2 und einer Quelle 3 verwendet. Die Röntgenaufnahmeverrichtung 1 ist mit einem Rechner 4 verbunden, an dem ein Bildschirm 5 angeschlossen ist. Die Position und Orientierung der Röntgenaufnahmeverrichtung 1, die als C-Bogen ausgebildet ist, wird mittels eines Infrarot-Tracking-Systems 6 verfolgt, dessen Daten an den Rechner 4 weitergeleitet werden. Die Position eines chirurgischen Instrumentes 7 relativ zum Zielobjekt 8, das sich auf dem Tisch 9 befindet, wird ermittelt, mit den präoperativ gewonnenen CT/MR 10 Daten verglichen und mit Hilfe des Bildschirms angezeigt. Das chirurgische Instrument 7 ist mit mehreren unterschiedlich orientierten Referenzmarken 11 versehen, die eine Bestimmung von dessen Orientierung ermöglichen.

[0047] Das Infrarot-Tracking-System 6 enthält anhand Fig. 2 einen im Raum fest angeordneten Infrarot Detektor 12 und eine oder mehrere auf der Röntgenaufnahmeverrichtung 1 angebrachte Referenzmarken 13. In Fig. 2 sind zwei unterschiedliche detektierbare Positionen der Röntgenaufnahmeverrichtung 1 gezeigt.

[0048] Fig. 3 zeigt eine Variante zur Ermittlung der Position und Orientierung der Röntgenaufnahmeverrichtung 1. Hier werden Winkelencoder 14 verwendet. Auch diese Daten werden an den Rechner 4 weitergeleitet. Der Vorteil der Verwendung der Winkelencoder 14 besteht darin, dass die Mobilität der Vorrichtung erhöht wird. In Fig. 3 sind ebenfalls zwei unterschiedliche detektierbare Positionen der Röntgenaufnahmeverrichtung 1 gezeigt.

[0049] Gemäß Fig. 4 ist die Röntgenaufnahmeverrichtung 1 als Stereo-C-Bogen ausgebildet und enthält zwei Quellen 3 und zwei Detektoren 2. Der Stereo-C-Bogen 1 ist in Fig. 5 detaillierter dargestellt. Jeder Röntgen-Quelle 3 ist ein Detektor 2 zugeordnet. Dadurch ist die relative Position und Orientierung der mit dieser Vorrichtung gewonnenen Aufnahmen bekannt und folglich wird kein Tracking-System benötigt. Das chirurgische Instrument 7 enthält keine Referenzmarken, sondern ist für Röntgenstrahlen sichtbar. Wie in Fig. 10 dargestellt, kann anstelle eines einfachen Instrumentes ein robotergeführtes Instrument 7 verwendet werden.

[0050] Fig. 6 illustriert eine weitere Ausführungsform einer Röntgenaufnahmeverrichtung mit zwei Quellen. Beiden Quellen 3 ist ein gemeinsamer Detektor 2 zugeordnet. Die Aufnahmen werden abwechselnd gemacht, wobei zwischen den einzelnen Aufnahmen eine kurze Zeitspanne eingeplant werden sollte, um eine gute Qualität der Aufnahmen zu gewährleisten.

[0051] Gemäß einer weiteren Ausführungsform, die nicht dargestellt ist, enthält die Röntgenaufnahmeverrichtung vier Quellen und einen oder mehrere Detektoren. Es gibt keine feste Zuordnung zwischen Quellen und Detektoren, so dass mehrere Kombinationen möglich sind. Für den Fall, dass vier Quellen und vier Detektoren vorgesehen sind, können sechzehn Aufnahmen unterschiedlicher Orientierung gewonnen werden.

[0052] Für den Fall, dass Einzelaufnahmen keine ausreichende Information über das Zielobjekt geben können, wird aus mindestens zwei Aufnahmen unterschiedlicher Orientierung eine dreidimensionale Rekonstruktion durchgeführt. Wie in Fig. 7 gezeigt, wird das Resultat dreidimensional auf dem Bildschirm 5 angezeigt. Dabei wird die tatsächliche Position des chirurgischen Instrumentes 7 mit der geplanten Position verglichen. Des Weiteren kann eine Warnung erzeugt werden, wenn die Abweichung zwischen Soll- und Istzustand relevant ist.

[0053] Fig. 8 illustriert die Vorrichtung zur Bestimmung der Information über die Absolutlage oder der Kameraparameter aus der Relativlage der Marken 16 im Bild.

[0054] Fig. 9 zeigt ein mit Marken 11 versehenes chirurgisches Instrument 7, wobei die Position der Instrumentenspitze nur aus einer Einzelaufnahme aus dem Schnittpunkt der räumlichen Instrumentenachse mit der Geraden Kameraursprung-Instrumentenspitze im Bildpunkt berechnet werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kalibrierung einer Aufnahmeverrichtung zur Bestimmung von räumlichen Koordinaten anatomischer Zielobjekte, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Aufnahmeverrichtung vor dem Einsatz derselben eine Serie von Aufnahmen aus mehreren unterschiedlichen Winkeln aufgenommen wird, wobei Kalibrierkörper und/oder Kalibriersysteme an der Aufnahmeverrichtung verwendet werden, die Verzerrungseigenschaften der Aufnahmen durch ein ortsabhängiges Kalibrierungs-Parametermodell beschrieben und gespeichert werden, wobei die Kalibrierkörper und/oder Kalibriersysteme anschließend ganz oder teilweise entfernt werden und wobei die während des Einsatzes der Aufnahmeverrichtung gewonnenen Aufnahmen von einem Rechner mit Hilfe des Kalibrierungs-Parametermodells ausgewertet und entzerrt dargestellt werden, wobei dann, wenn während des Einsatzes der Aufnahmeverrichtung eine Aufnahmerichtung verwendet wird, die mit einer der bereits gespeicherten nicht übereinstimmt, die Verzerrungseigenschaften durch einen Interpolationsalgorithmus aus dem Kalibrierungs-Parametermodell ermittelt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Einsatz der Aufnahmeverrichtung statische Marken (16) im Sichtfeld der Aufnahmeverrichtung (1) angebracht werden, deren relativen Bildpositionen in eine Serie von Aufnahmen bestimmt werden, wobei jeweils die zugehörigen Kameraparameter oder Kalibrierdaten oder Information über die Absolutposition gespeichert werden, wobei anschließend während des Einsatzes der Aufnahmeverrichtung aus der relativen Lage der Marken (16) im Bild die zugehörige Information über die Absolutposition, die Kameraparameter, Kalibrierdaten etc. ermittelt oder berechnet wird.

3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung der relativen Position und/oder Orientierung der Aufnahmen zueinander mittels Winkelcodern (14) erfolgt, die auf der Aufnahmeverrichtung (1) angebracht sind.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung der relativen Position und/oder Orientierung der Aufnahmen zueinander dadurch erfolgt, dass vordefinierte Einstellungen für die Position und/oder Orientierung verwendet werden.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich zwei Kalibrierkörper verwendet werden, die leicht zu detektierende Merkmale enthalten, wobei der eine direkt vor der Aufnahmeverrichtung (1) und der andere fest im Raum angeordnet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Referenzmarken (16) wenige im Bild sichtbare Marken sind, die auch während des Einsatzes der Aufnahmeverrichtung angebracht bleiben.

7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der direkt vor der Aufnahmeverrichtung (1) angeordnete Kalibrierkörper während des Einsatzes der Aufnahmeverrichtung angebracht bleibt. 5

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet dass eine Warnung erzeugt wird, wenn der Fehler bei der Kalibrierung während des Einsatzes der Aufnahmeverrichtung einen vorbestimmten Wert überschreitet, und/oder die am nächsten liegende geeignete Position angezeigt wird. 10

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Warnung erzeugt wird, wenn der Winkelabstand zwischen zwei Aufnahmen zu klein oder ungeeignet ist. 15

10. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche mit einer bildgebenden Aufnahmeverrichtung (1), einer Recheneinheit (4) und einem Bildschirm (5), wobei die Aufnahmeverrichtung (1) mindestens zwei in festem Abstand voneinander angeordnete Aufnahmeeinrichtungen enthält, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufnahmeverrichtung (1) eine Röntgenaufnahmeverrichtung ist, die vier oder zwei Quellen (3) und mindestens einen Detektor (2) aufweist, wobei die Quellen (3) abwechselnd aktivierbar sind und zusätzlich eine Einrichtung zur Ermittlung der Position und/oder der Orientierung der Aufnahmeverrichtung (1) vorgesehen ist. 20

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Röntgenaufnahmeverrichtung (1) ein Stereo-C-Bogen-Röntgengerät ist. 30

12. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 mit einer bildgebenden Aufnahmeverrichtung (1), die eine Aufnahmeeinrichtung (2, 3) enthält, einer Recheneinheit (4), einem Bildschirm (5) und einer Einrichtung zur Ermittlung der Position und/oder der Orientierung der Aufnahmeeinrichtung, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zur Ermittlung der Position und/oder der Orientierung der Aufnahmeverrichtung (1) auf der Aufnahmeverrichtung angebrachte Winkelencoder (14) oder Beschleunigungsmesser sind, wobei die Einrichtung zur Ermittlung der Position und/oder der Orientierung der Aufnahmeeinrichtung zusätzlich ein Tracking-System (6) enthält. 35

13. Vorrichtung einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufnahmeverrichtung (1) eine CT-, MR-, Ultraschall- oder Infrarot-Aufnahmeverrichtung ist. 45

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufnahmeverrichtung (1) ein C-Bogen-Röntgengerät ist. 50

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine oder mehrere entfernbare Kalibriereinrichtungen enthält. 55

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Kalibriereinrichtungen Kalibrierkörper sind, die leicht zu detektierende Merkmale enthalten, wobei der eine direkt vor der Aufnahmeverrichtung (1) und der andere fest im Raum angebracht ist. 60

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine oder mehrere Referenzmarken (16) im Sichtfeld der Aufnahmeverrichtung (1) aufweist. 65

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass sie mindestens ein chirurgisches Instrument (7) enthält, welches mit für die Aufnahmeverrichtung (1) sichtbaren Referenzmarken (11) versehen ist. 70

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

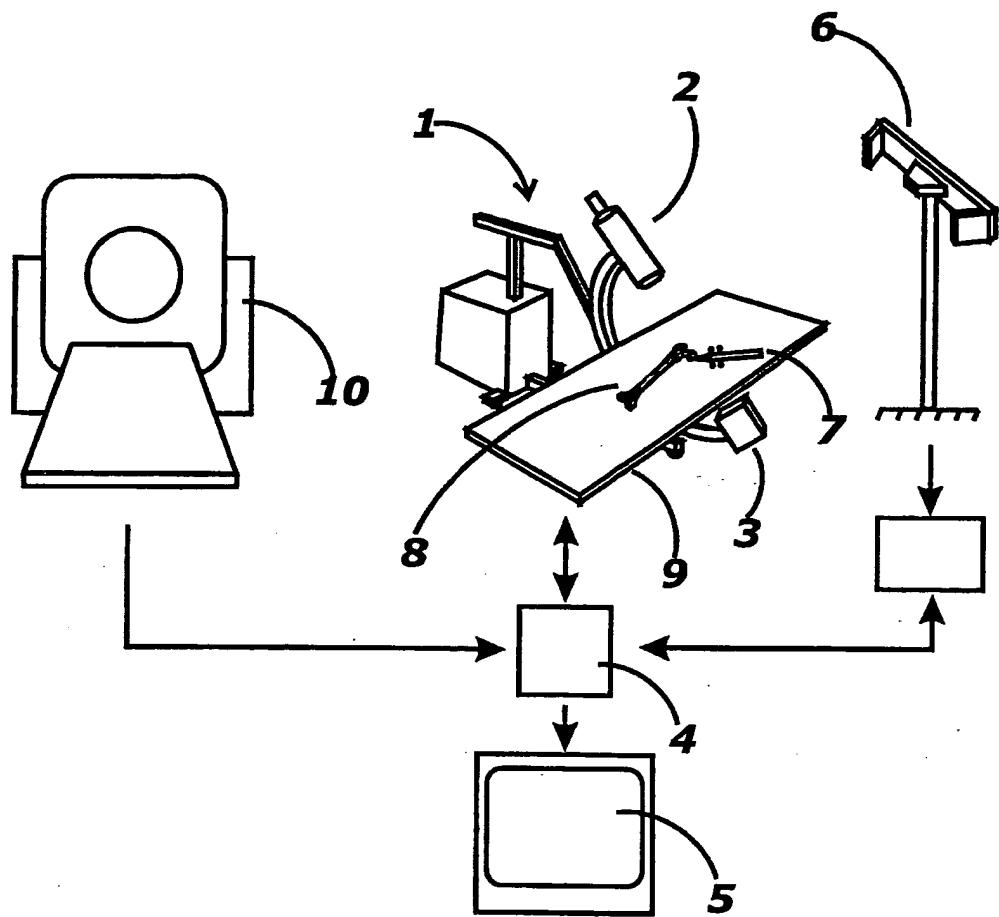


Fig. 1

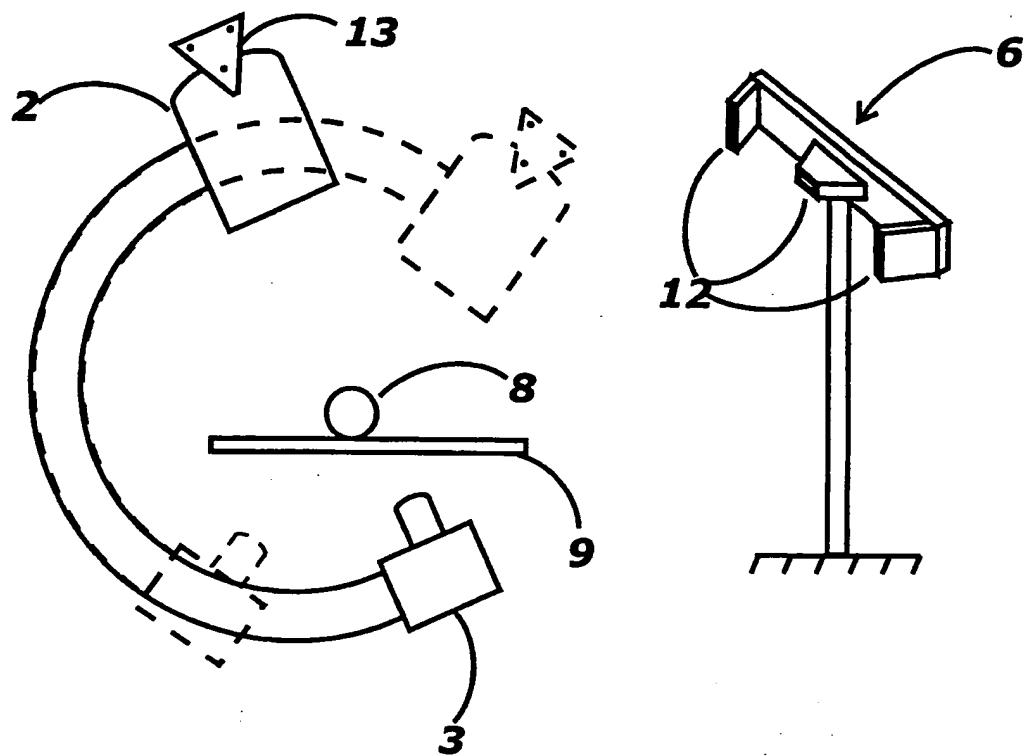


Fig. 2

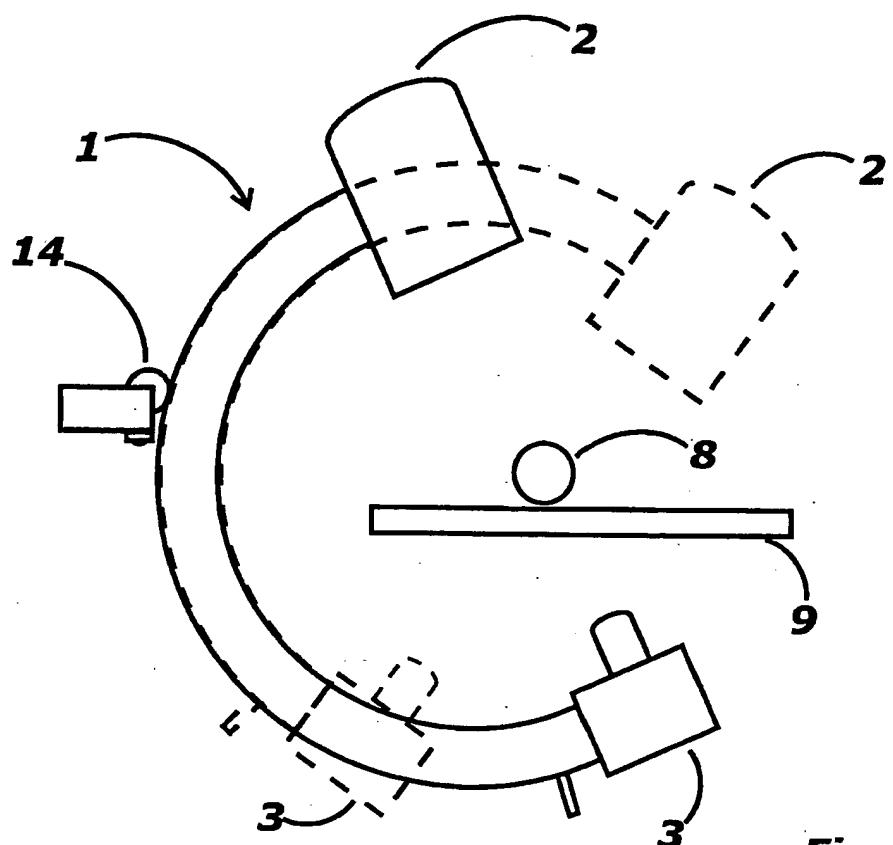


Fig. 3

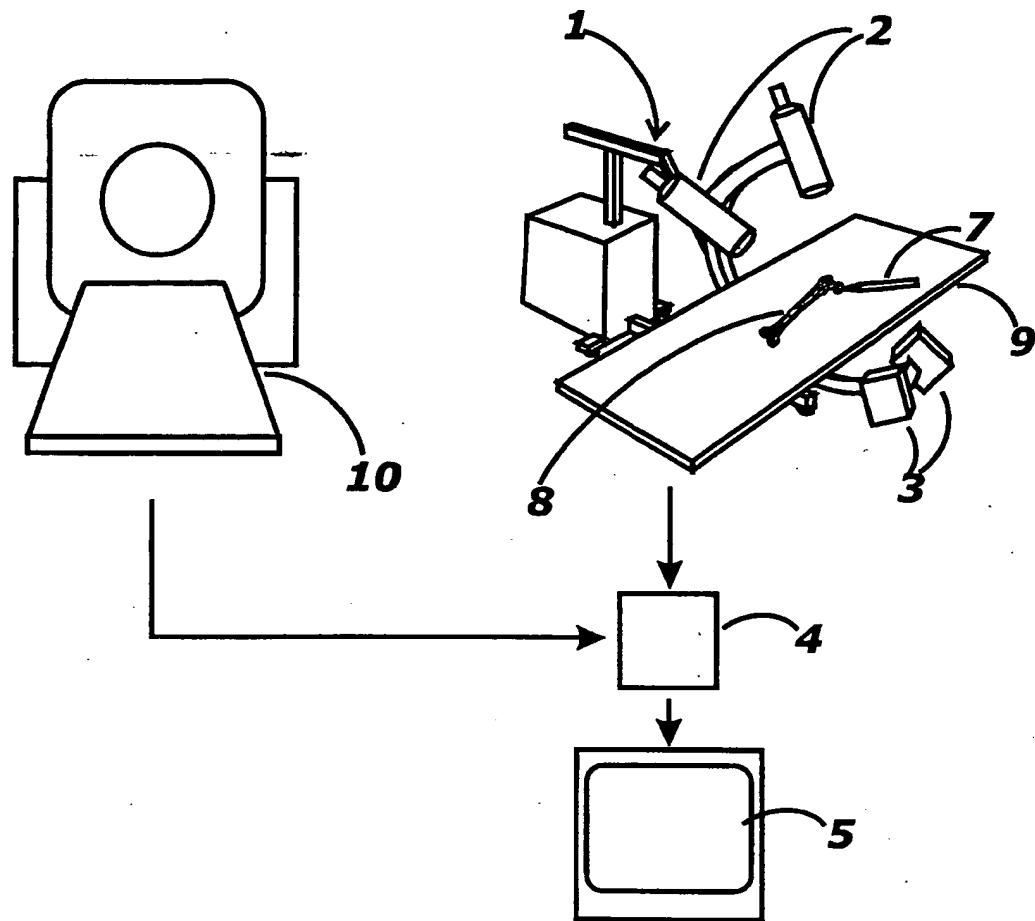


Fig. 4

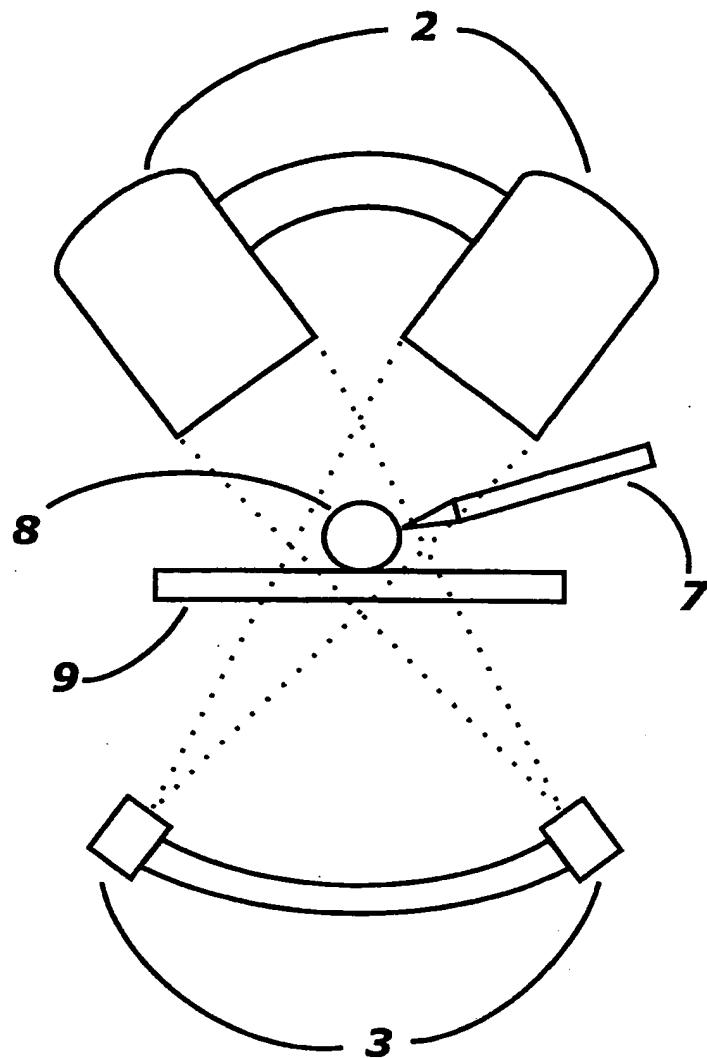


Fig. 5

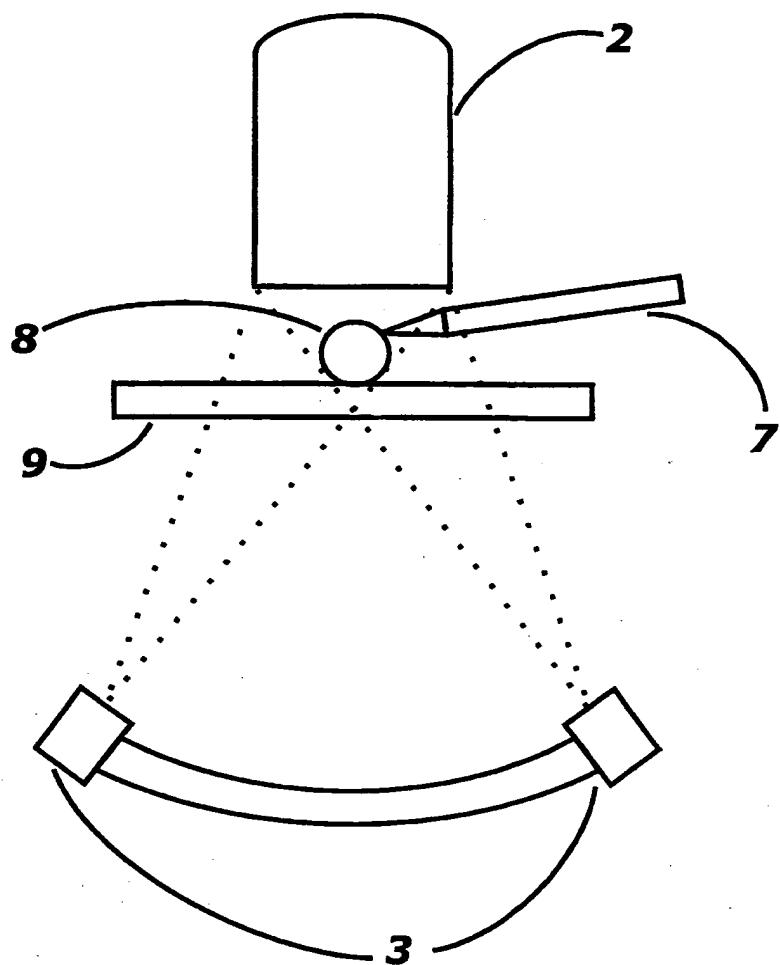


Fig. 6

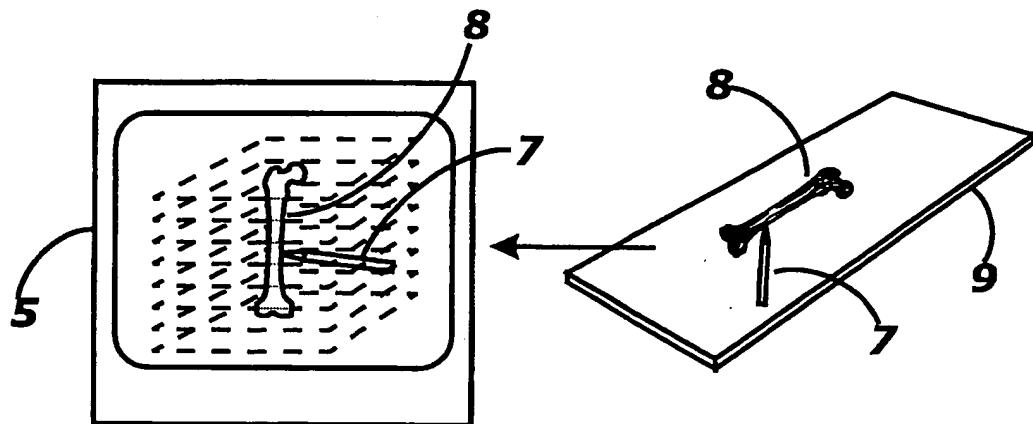


Fig. 7

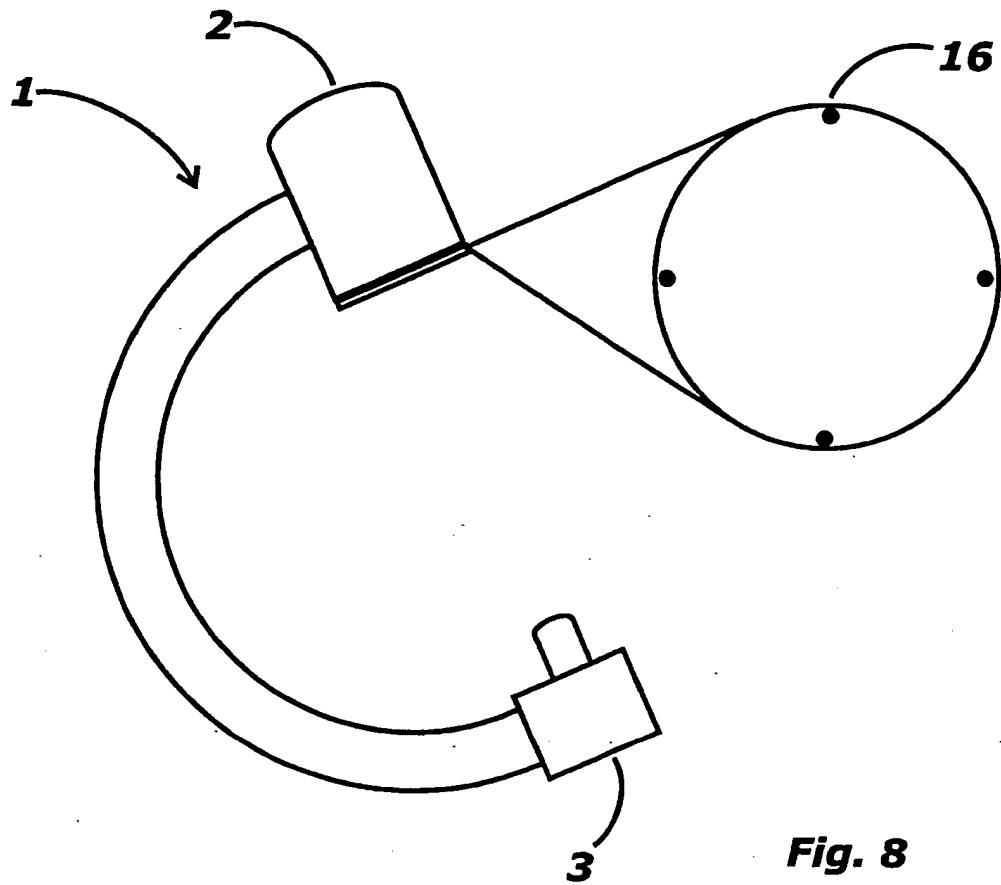


Fig. 8

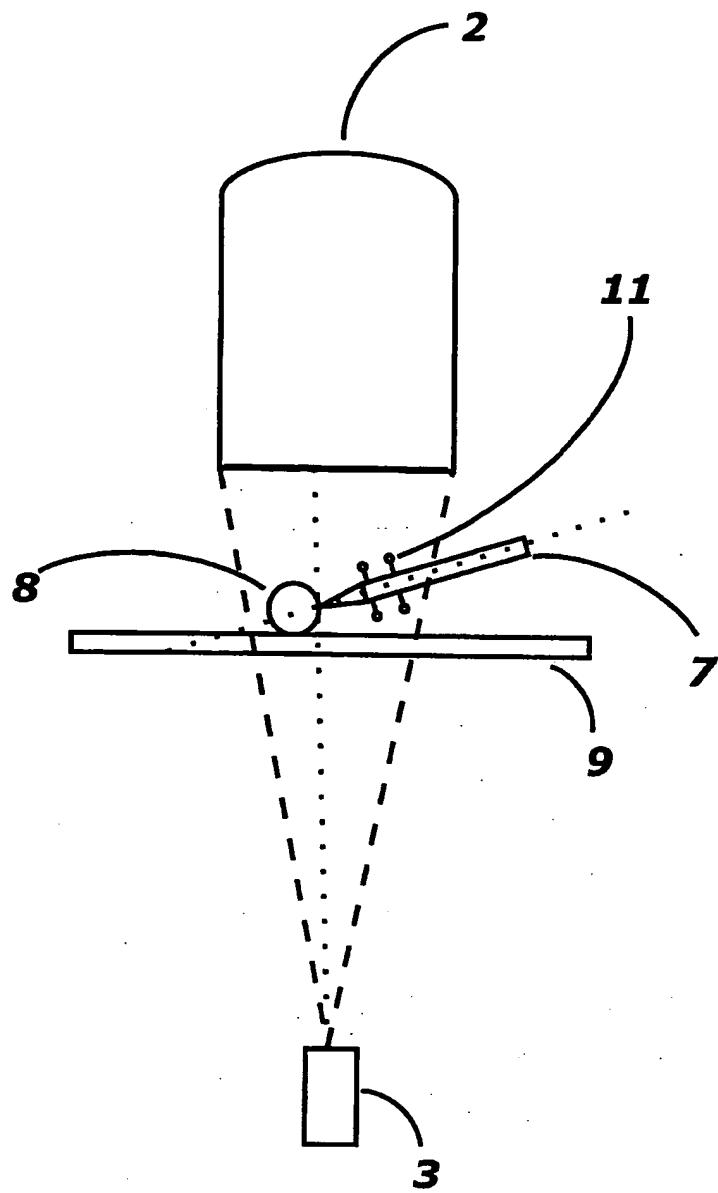


Fig. 9

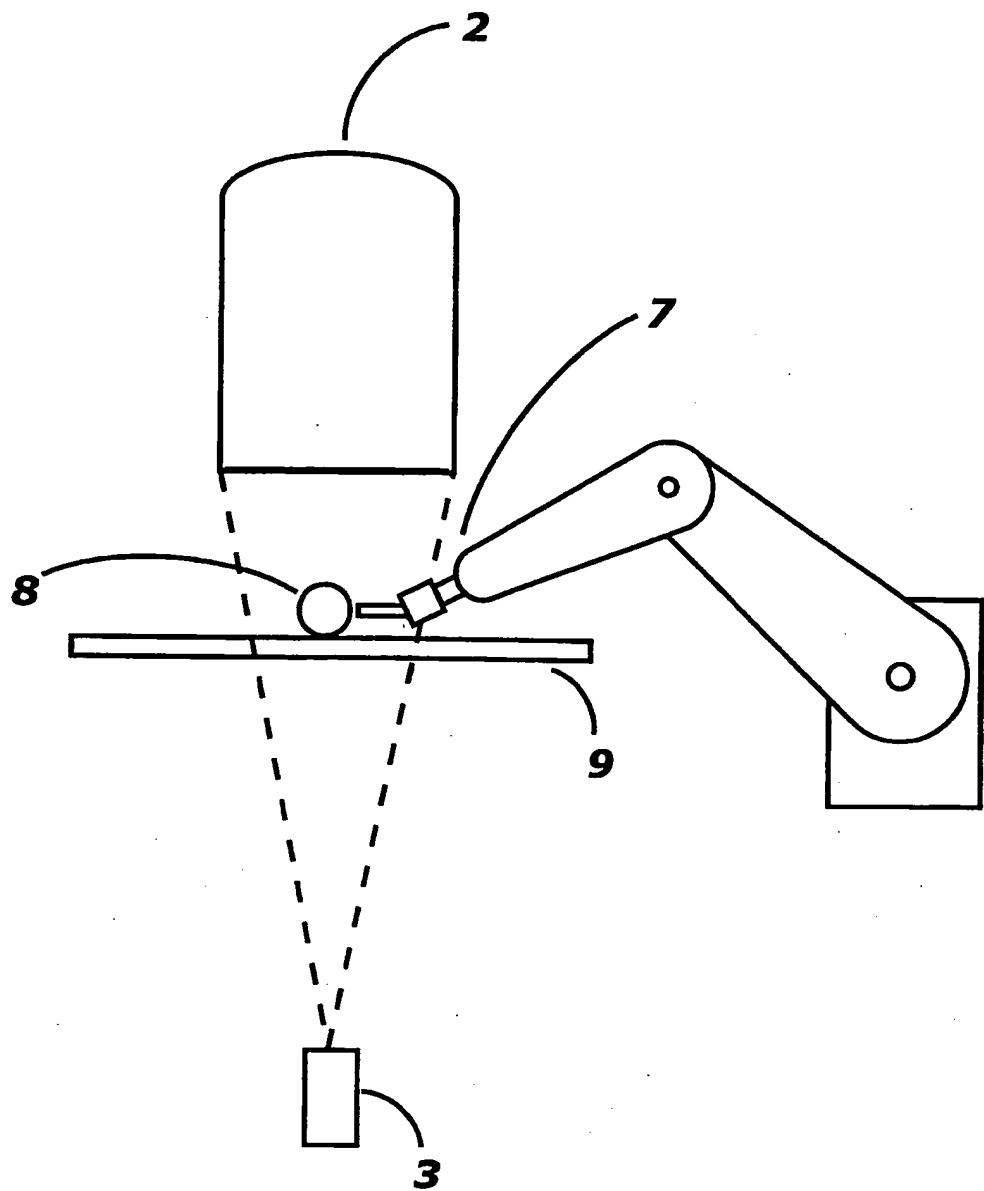


Fig. 10